



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 198 03 188 A 1**

51 Int. Cl.⁶:
H 04 Q 7/38
H 04 Q 7/30
H 04 B 7/204

21 Aktenzeichen: 198 03 188.2
22 Anmeldetag: 28. 1. 98
43 Offenlegungstag: 29. 7. 99

DE 198 03 188 A 1

71 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

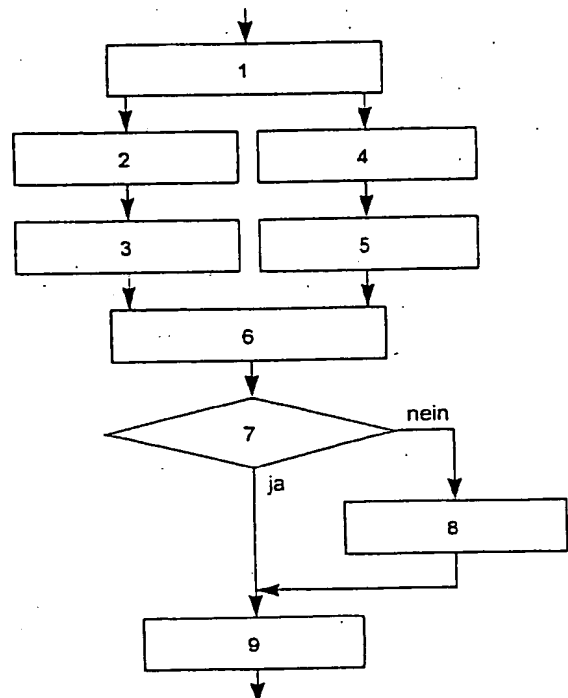
72 Erfinder:
Haardt, Martin, Dr.-Ing., 81477 München, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Basisstation zur Datenübertragung in einem Funk-Kommunikationssystem

57 In einem ersten Schritt werden räumliche Kovarianzmatrizen für eine k-te Verbindung von der Basisstation zu einer Funkstation bzw. für eine Summe von weiteren Funkstationen bestimmt, d. h. im letzteren Fall die Interferenzen für die Verbindung k. In einem zweiten Schritt wird für die Verbindung ein Strahlformungsvektor $w^{(k)}$ derartig berechnet, der das Signal/Stör-Verhältnis beim Empfänger maximiert, wobei ein allgemeines Eigenwertproblem ohne Iterationen gelöst wird. Daraufhin werden Sendesignale für die Verbindung mit dem Strahlformungsvektor gewichtet und den Antennenelementen zur Abstrahlung zugeführt. Das Verfahren eignet sich für TDMA/CDMA und CDMA-Übertragungsverfahren mit intelligenten Antennen (smart antennas).



DE 198 03 188 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Basisstation zur Datenübertragung in einem Funk-Kommunikationssystem, wobei die Basisstation eine zugeordnete Antenneneinrichtung mit mehreren Antennenelementen aufweist, so daß eine räumliche Auflösung bei einer Strahlformung möglich ist.

In Funk-Kommunikationssystemen werden Nachrichten (beispielsweise Sprache, Bildinformationen oder andere Daten) mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen über eine Funkschnittstelle zwischen sendender und empfangender Funkstation (Basisstation bzw. Mobilstation) übertragen. Das Abstrahlen der elektromagnetischen Wellen erfolgt dabei mit Trägerfrequenzen, die in dem für das jeweilige System vorgesehenen Frequenzband liegen. Beim GSM (Global System for Mobile Communication) liegen die Trägerfrequenzen im Bereich von 900, 1800 bzw. 1900 MHz. Für zukünftige Mobilfunknetze mit CDMA- oder TD/CDMA-Übertragungsverfahren über die Funkschnittstelle, beispielsweise das UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) oder andere Systeme der 3. Generation sind Frequenzen im Frequenzband von ca. 2000 MHz vorgesehen.

Signale unterliegen bei ihrer Ausbreitung in einem Ausbreitungsmedium Störungen durch Rauschen. Durch Beugungen und Reflexionen durchlaufen Signalkomponenten verschiedene Ausbreitungswege und überlagern sich beim Empfänger und führen dort zu Auslöschungseffekten. Zum weiteren kommt es bei mehreren Signalquellen zu Überlagerungen dieser Signale. Frequenzmultiplex (FDMA), Zeitlagenmultiplex (TDMA) oder ein als Codemultiplex (CDMA) bekanntes Verfahren dienen der Unterscheidung der Signalquellen und damit zur Auswertung der Signale.

Das gegenwärtig existierende GSM-Mobilfunksystem ist ein Funk-Kommunikationssystem mit einer TDMA-Komponente zur Teilnehmerseparierung (Time Division Multiple Access). Gemäß einer Rahmenstruktur werden Nutzinformationen der Teilnehmerverbindungen in Zeitschlitzten übertragen. Die Übertragung erfolgt blockweise.

Aus DE 195 49 148 ist ein Mobil-Kommunikationssystem bekannt, das eine TDMA/CDMA-Teilnehmerseparierung (CDMA code division multiple access) nutzt und empfangsseitig ein JD-Verfahren (joint detection) anwendet, um unter Kenntnis von Spreizcodes mehrerer Teilnehmer eine verbesserte Detektion der übertragenen Nutzinformationen vorzunehmen. In einem Frequenzkanal (TCH traffic channel) werden gleichzeitig Informationen mehrerer Nutzdatenverbindungen übertragen, die durch ihren Spreizcode unterscheidbar sind.

Aus DE 197 12 549 ist es bekannt, intelligente Antennen (smart antennas) zu nutzen, um die Übertragungskapazität in Aufwärtsrichtung zu erhöhen. Aus A.J. Paulraj, C.B. Papadimas, "Space-time processing for wireless communications", IEEE Signal Processing Magazin, Nov. 1997, S. 49-83, sind verschiedene Verfahren zur räumlichen Signaltrennung für Auf- und Abwärtsrichtung bekannt.

Für die Abwärtsrichtung, also von Basisstation zur Mobilstation treten besondere Schwierigkeiten auf, da die Strahlformung vor der Beeinflussung der übertragenen Signale durch den Funkkanal vorzunehmen ist. Aus R. Schmalenberger, J.J. Blanz, "A comparison of two different algorithms for multi antenna C/I balancing", Proc. 2nd European Personal Mobile Communications Conference (EPMCC), Bonn, Germany, Sept. 1997, S. 483-490, ist die Strahlformung in Abwärtsrichtung bekannt, wobei eine direkte Ausbreitungspfad (Sichtverbindung) zwischen den beteiligten Funkstationen und eine iterative Berechnung von Strahlformungsvektoren vorausgesetzt werden. Mit jeder Änderung bei den beteiligten Funkstationen, z. B. einem Verbindungsaufbau oder -abbau zu einer Mobilstation, muß die gesamte Berechnung wiederholt werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren und eine verbesserte Basisstation zur Datenübertragung anzugeben, bei denen der Rechenaufwand für die Strahlformung wesentlich verringert wird. Diese Aufgabe wird durch das Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und die Basisstation mit den Merkmalen des Patentanspruchs 10 gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Datenübertragung wird in einem Funk-Kommunikationssystem mit einer Basisstation und weiteren Funkstationen eingesetzt, wobei die Basisstation eine zugeordnete Antenneneinrichtung mit mehreren Antennenelementen aufweist. Die weiteren Funkstationen können Mobilstationen, so in einem Mobilfunknetz, oder Feststationen sein, so in sogenannten Teilnehmerzugang-Netzen zum drahtlosen Teilnehmeranschluß.

In einem ersten Schritt werden räumliche Kovarianzmatrizen für eine k-te Verbindung von der Basisstation zu einer Funkstation bzw. für eine Summe von Signalen weiterer Funkstationen bestimmt, d. h. im letzteren Fall die Summe der Interferenzen für die Verbindung k.

In einem zweiten Schritt wird für die Verbindung ein Strahlformungsvektor $w^{(k)}$ derartig berechnet, daß die Beziehung

$$\frac{|w^{(k)} R_{xx}^{(k)} w^{(k)}|}{|w^{(k)} R_j^{(k)} w^{(k)}|}$$

maximiert wird, wobei der verallgemeinerte Eigenvektor $w^{(k)}$ zum größten verallgemeinerten Eigenwert $\lambda_{\max}^{(k)}$ durch $R_{xx}^{(k)} w^{(k)} = R_j^{(k)} w^{(k)} \lambda_{\max}^{(k)}$ definiert ist.

Daraufhin werden Sendesignale für die Verbindung mit dem Strahlformungsvektor gewichtet und den Antennenelementen zur Abstrahlung zugeführt.

Durch dieses Verfahren wird die für die Verbindung k zur Verfügung stehende Leistung im Verhältnis zur Leistung der Interferenzen maximiert, wobei auf Iterationen verzichtet werden kann, da die Berechnung mit der Nebenbedingung $R_{xx}^{(k)} w^{(k)} = R_j^{(k)} w^{(k)} \lambda_{\max}^{(k)}$ in einem Schritt zum gewünschten Ergebnis führt. Der Rechenaufwand wird also drastisch reduziert. Insbesondere bei Szenarios mit vielen Teilnehmern und stark schwankenden Kanalbedingungen wird erfindungsgemäß die Strahlformung in Abwärtsrichtung wirtschaftlicher gestaltet.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird eine Sendeleistung für die Sendesignale der Verbindung aus dem Strahlformungsvektor $w^{(k)}$ gemäß der Beziehung $P_k = w^{(k)H} w^{(k)}$ bestimmt, wobei H einen transjugierten Vektor bezeichnet. Die Sendeleistung wird zusätzlich auf einen vorgegebenen minimalen Signal/Stör-Abstand bei der Funkstation angehoben. Der momentane Signal/Stör-Abstand wird bei der empfangenden Funkstation gemessen und der Basis-

station mitgeteilt, so daß diese durch eine entsprechende Sendeleistungseinstellung den minimalen Signal/Stör-Abstand garantieren kann.

Erfolgt die Datenübertragung in Abwärts- und Aufwärtsrichtung im gleichen Frequenzband, werden vorteilhafterweise die räumlichen Kovarianzmatrizen der Verbindung für die Abwärtsrichtung aus Meßwerten der Aufwärtsrichtung bestimmt. Die in TDD (time division duplex) vorhandene Übereinstimmung von Sende- und Empfangsfrequenz wird damit zur zuverlässigen Bestimmung der räumlichen Kanalparameter benutzt. Die Schätzung von Einfallsrichtungen ist für TDD-Systeme also nicht erforderlich.

Erfolgt jedoch die Datenübertragung in Abwärts- und Aufwärtsrichtung in unterschiedlichen Frequenzbändern, werden die räumlichen Kovarianzmatrizen für die Abwärtsrichtung aus dominanten Einfallsrichtungen für Empfangssignale der Verbindung in der Aufwärtsrichtung bestimmt. Auch für diesen Fall können zuverlässige räumliche Kanalparameter ermittelt und ständig aktualisiert werden.

Nach einer vorteilhaften Ausprägung der Erfindung wird für die räumliche Kovarianzmatrix der Summe der Einflüssen von weiteren Funkstationen als eine Einheitsmatrix aufgestellt. Dies vereinfacht die Berechnung nochmals, wobei damit das verallgemeinerte Eigenwertproblem auf ein normales Eigenwertproblem reduziert wird.

Eine besonders hohe Zuverlässigkeit bei der Bestimmung der räumlichen Kovarianzmatrizen wird dadurch erreicht, daß die Bestimmung auf geschätzten Kanalimpulsantworten basiert, d. h. Kanalmessungen zusätzlich zur Gewinnung räumlicher Aussagen ausgewertet werden. Vorteilhafterweise werden die Kanalimpulsantworten aus von der Funkstation gesendeten Trainingssequenzen bestimmt. Die gesendeten Trainingssequenzen für eine oder mehrere Verbindungen sind in der empfangenden Station bekannt, so daß besonders zuverlässige Schätzwerte ermittelt werden können.

Weiterhin ist es vorteilhaft, daß die Funkstation bzw. die Basisstation eine gemeinsame Detektion (joint detection) mehrerer, sich durch einen CDMA-Kode unterscheidender Signale durchführt und Interferenzen von nicht zur Verbindung gehörigen Signalen eliminiert werden. Damit werden die Anforderungen an das Signal/Rausch-Verhältnis vermindert, und die für eine ausreichende Übertragungsqualität nötigen Sendeleistungen können verringert werden.

Im folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels bezugnehmend auf zeichnerische Darstellungen näher erläutert.

Dabei zeigen

Fig. 1 ein Blockschaltbild eines Mobilfunknetzes,

Fig. 2 eine schematische Darstellung der Rahmenstruktur der Funkübertragung,

Fig. 3 Blockschaltbilder von Basisstation und Mobilstation,

Fig. 4 ein Blockschaltbild der Antenneneinrichtung und der Basisstation bezüglich der Schätzung der räumlichen Kovarianzmatrizen,

Fig. 5 ein Blockschaltbild eines Strahlformungsnetzwerks, und

Fig. 6 ein Ablaufdiagramm für die Strahlformung.

Das in Fig. 1 dargestellte Funk-Kommunikationssystem entspricht in seiner Struktur einem bekannten GSM-Mobilfunknetz, das aus einer Vielzahl von Mobilvermittlungsstellen MSC besteht, die untereinander vernetzt sind bzw. den Zugang zu einem Festnetz PSTN herstellen. Weiterhin sind diese Mobilvermittlungsstellen MSC mit jeweils zumindest einem Basisstationscontroller BSC verbunden. Jeder Basisstationscontroller BSC ermöglicht wiederum eine Verbindung zu zumindest einer Basisstation BS. Eine solche Basisstation BS kann über eine Funkschnittstelle eine Nachrichtenverbindung zu Mobilstationen MS aufbauen.

In Fig. 1 sind beispielhaft Verbindungen V1, V2, V_k zur Übertragung von Nutzinformationen und Signalisierungsinformationen zwischen Mobilstationen MS1, MS2, MS_k, MS_n und einer Basisstation BS dargestellt. Ein Operations- und Wartungszentrum OMC realisiert Kontroll- und Wartungsfunktionen für das Mobilfunknetz bzw. für Teile davon. Die Funktionalität dieser Struktur ist auf andere Funk-Kommunikationssysteme übertragbar, in denen die Erfindung zum Einsatz kommen kann, insbesondere für Teilnehmerzugangsnetze mit drahtlosem Teilnehmeranschluß.

Die Rahmenstruktur der Funkübertragung ist aus Fig. 2 ersichtlich. Gemäß einer TDMA-Komponente ist eine Aufteilung eines breitbandigen Frequenzbereiches, beispielsweise der Bandbreite B = 1,2 MHz in mehrere Zeitschlitz ts, beispielsweise 8 Zeitschlitz ts1 bis ts8 vorgesehen. Jeder Zeitschlitz ts innerhalb des Frequenzbereiches B bildet einen Frequenzkanal FK. Innerhalb der Frequenzkanäle TCH, die allein zur Nutzdatenübertragung vorgesehen sind, werden Informationen mehrerer Verbindungen in Funkblöcken übertragen.

Diese Funkblöcke zur Nutzdatenübertragung bestehen aus Abschnitten mit Daten d, in denen Abschnitte mit empfangsseitig bekannten Trainingssequenzen tseq1 bis tseqn eingebettet sind. Die Daten d sind verbindungsindividuell mit einer Feinstruktur, einem Teilnehmerkode c, gespreizt, so daß empfangsseitig beispielsweise n Verbindungen durch diese CDMA-Komponente separierbar sind.

Die Spreizung von einzelnen Symbolen der Daten d bewirkt, daß innerhalb der Symboldauer T_{sym} Q Chips der Dauer T_{chip} übertragen werden. Die Q Chips bilden dabei den verbindungsindividuellen Teilnehmerkode c. Weiterhin ist innerhalb des Zeitschlitzes ts eine Schutzzeit gp zur Kompensation unterschiedlicher Signalaufzeiten der Verbindungen vorgesehen.

Innerhalb eines breitbandigen Frequenzbereiches B werden die aufeinanderfolgenden Zeitschlitz ts nach einer Rahmenstruktur gegliedert. So werden acht Zeitschlitz ts zu einem Rahmen zusammengefaßt, wobei beispielsweise ein Zeitschlitz ts4 des Rahmens einen Frequenzkanal zur Signalisierung FK oder einen Frequenzkanal TCH zur Nutzdatenübertragung bildet, wobei letzter wiederkehrend von einer Gruppe von Verbindungen genutzt wird.

Fig. 3 zeigt die Funkübertragung in Abwärtsrichtung von der Basisstation BS zu Mobilstationen MS1 bis MS_n in einem Frequenzkanal TCH zur Datenübertragung. Die Mobilstationen MS1 bis MS_n bestimmen zuerst einen oder mehrere Frequenzbereiche B mit einer ausreichend hohen oder maximalen Empfangsleistung. Dies sind die Frequenzbereiche B der nächstliegenden Basisstation BS, in deren Zelle sich die Mobilstation MS momentan befindet. Somit entsteht die Zuordnung von Basisstation MS und Mobilstation MS_k.

Die Basisstation BS enthält eine Sende/Empfangeinrichtung TX/RX, die abstrahlende Sendesignale digital/analog wandelt, vom Basisband in den Frequenzbereich B der Abstrahlung umsetzt und die Sendesignale moduliert und ver-

stärkt. Eine Signalerzeugungseinrichtung SA hat zuvor die Sendesignale in Funkblöcken zusammengestellt und dem entsprechenden Frequenzkanal TCH zugeordnet. Eine Signalverarbeitungseinrichtung DSP wertet über die Send/Empfangseinrichtung TX/RX empfangene Empfangssignale aus und führt eine Kanalschätzung durch.

Zur Signalverarbeitung werden die Empfangssignale in Symbole mit diskretem Wertevorrat umgewandelt, beispielsweise digitalisiert. Eine Signalverarbeitungseinrichtung DSP, die als digitaler Signalprozessor einen JD-Prozessor zum Detektieren der Nutzinformationen und der Signalisierungsinformationen nach dem JD-CDMA-Verfahren (joint detection) enthält, wertet auch die Datenteile d aus. Das Zusammenwirken der Komponenten wird durch eine Steuereinrichtung SE gesteuert. Die zur räumlichen Teilnehmerseparierung mittels der zugeordneten Antenneneinrichtung AE benötigten Daten werden in einer Speichereinrichtung SP gespeichert.

Die Mobilstation MSk enthält entsprechend adaptiert die für die Basisstation erläuterten Baugruppen und zusätzlich ein Bedienfeld T. Am Bedienfeld T kann der Teilnehmer Eingaben vornehmen, u. a. eine Eingabe zum Aktivieren der Mobilstation MS oder zum Verbindungsaufbau einer Verbindung V_k zur Basisstation. Die Steuereinrichtung SE wertet in Abwärtsrichtung gesendete und von der Mobilstation MSk empfangene Signale aus, bestimmt die Empfangsleistung bzw. das vorliegende momentane Signal/Stör-Verhältnis und veranlaßt eine Signalisierung zur Basisstation BS in einem Signalisierungskanal ACCH.

In Fig. 4 ist die Basisstation BS mit zugeordneten Antennenelementen A1 bis Am der Antenneneinrichtung AE dargestellt. Diese Antenneneinrichtung AE ist der Basisstation BS zugeordnet und empfängt von den sendenden Mobilstationen MS des Mobilfunknetzes Empfangssignale rx bzw. sendet zu den empfangenden Mobilstationen MS Sendesignale tx.

Die Antennenelemente A1 bis Am bilden eine Antenneneinrichtung AE, die als intelligente Antenneneinrichtung ausgebildet ist, d. h. mehrere Antennenelemente A1 bis Am dieser intelligenten Antenneneinrichtung AE empfangen zum gleichen Zeitpunkt Empfangssignale rx bzw. senden Sendesignale tx. Die Signale können derartig miteinander kombiniert werden, daß die Übertragungsqualität gegenüber Systemen mit einer Empfangsantenne verbessert wird und eine die Kapazität steigernde räumliche Auflösung möglich ist.

Im Empfangsfall werden aus den Empfangssignalen rx, z. B. durch eine Übertragung ins Basisband und darauffolgende Analog/Digitalwandlung, digitale Signale erzeugt und in der Empfangseinrichtung RX ausgewertet (Schritt 1 in Fig. 6).

Die Empfangseinrichtung RX umfaßt als Teil der Signalverarbeitungseinrichtung DSP mehrere Kanalschätzer KS und einen Datenschätzer DS, sowie die bereits genannte Steuereinrichtung SE und Speichereinrichtung SP. Zusätzlich liegt in der Empfangseinrichtung RX ein a-priori-Wissen über die Anzahl K der Teilnehmer, deren Trainingssequenzen tseq1, ..., tseqn ($K \leq n$) und deren Teilnehmercode c vor, ggf. kann auch über Informationen zu Störsignalen verfügt werden.

Die durch die Kanalschätzer KS beispielsweise nach einer Gauß-Markov- oder einer Maximum-Likelihood-Schätzung basierend auf den Trainingssequenzen tseq1 bis tseqn bestimmten Kanalimpulsantworten h (Schritt 2 in Fig. 6) und die empfangenen digitale Datensymbole e werden dem Datenschätzer DS für eine gemeinsame Detektion zugeführt. Weiterhin erhält die Steuereinrichtung SE die Kanalimpulsantworten h und die empfangenen digitalen Datensymbole e zur Bestimmung von räumlichen Kovarianzmatrizen R_{xx} , R_I für eine k-te Verbindung V_k bzw. für die Interferenzen der übrigen Verbindungen V1 bis Vn und evt. der bekannten Störer.

Bei TDD-Systemen können die Empfangssignale direkt, d. h. aus

$$H = \begin{bmatrix} h^{h(k,1)T} \\ h^{h(k,2)T} \\ \dots \\ h^{h(k,M)T} \end{bmatrix} \in C^{M \times W}, 1 \leq k \leq K,$$

bestimmt werden, wobei M die Anzahl der Antennenelemente, K die Anzahl der aktiven Teilnehmer und H die Matrix der Kanalimpulsantworten h der Länge W darstellt. Ein Schätzwert für die räumliche Kovarianzmatrix R_{xx} für die Verbindung V_k ist beispielsweise nach $R_{xx}^{(k)} = \frac{1}{W} \cdot H^{(k)} H^{(k)H}$ (Schritt 2 in Fig. 6). Der Wert für R_{xx} kann dabei über mehrere Funkblöcke mittels eines rechteckigen oder exponentiellen Fensters gemittelt werden.

Für die räumliche Kovarianzmatrix R_I der Interferenzen, die sich aus den Signalen der übrigen Verbindungen, die nicht durch gemeinsame Detektion bei der Mobilstation MSk erfaßt werden (falls JD benutzt wird), und den Störungen ergeben, werden ebenfalls die Trainingssequenzen tseq1 bis tseqn benutzt. Hierbei sollen die Einflüsse der Signale für die k-te Verbindung und der evt. durch gemeinsame Detektion an der Mobilstation MSk erfaßten Verbindungen abgezogen werden (Schritt 4 in Fig. 6).

Somit kann ein Vektor für das Empfangssignal des m-ten Antennenelementes Am $e^{(m)} = [e_1^{(m)} e_2^{(m)} e_L^{(m)}]^T = e_{JD}^{(m)} + e_I^{(m)}$, $1 \leq m \leq M$ aufgestellt werden, wobei L die Anzahl der Abtastwerte angibt, die allein von den Trainingssequenzen beeinflusst sind, d. h. einige Abtastwerte können aufgrund von Interferenzen der vorangehenden Datensymbole d nicht berücksichtigt werden. Die Vektoren $e_{JD}^{(m)}$ und $e_I^{(m)}$ enthalten Anteile - JD - der Teilnehmer des Kanals, die durch die gemeinsame Detektion berücksichtigt werden, und Anteile - I - der Teilnehmer benachbarter Zellen.

Wird die Trainingssequenz tseqk des k-ten Teilnehmers, einer Länge L+W-1 mit $s_i^{(k)}$, $1 \leq i \leq L+W-1$, $1 \leq k \leq K$ bezeichnet, so kann der Vektor $e_{JD}^{(m)}$ folgendermaßen angegeben werden:

$$e_{JD}^{(m)} = \sum_{k=1}^K \left[\begin{array}{cccc} S_W^{(k)} & S_{W-1}^{(k)} & S_{W-2}^{(k)} & \dots & S_1^{(k)} \\ S_{W+1}^{(k)} & S_W^{(k)} & S_{W-1}^{(k)} & \dots & S_2^{(k)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{W+L-1}^{(k)} & S_{W+L-2}^{(k)} & S_{W+L-3}^{(k)} & \dots & S_L^{(k)} \end{array} \right] h^{(k,m)}.$$

Der Vektor $e_1^{(m)}$ enthält nur Anteile der störenden Teilnehmer des gleichen Frequenzkanals in benachbarten Zellen, so daß gilt:

$$e_1^{(m)} = e^{(m)} - e_{JD}^{(m)},$$

für jedes Antennenelement m , $1 \leq m \leq M$.

Somit kann ein Vektor

$$E_1 = \begin{bmatrix} e_1^{(1)T} \\ e_1^{(2)T} \\ \dots \\ e_1^{(M)T} \end{bmatrix} \in \mathbb{C}^{M \times W}$$

und damit die räumliche Kovarianzmatrix R_1 als

$$R_1^{(k)} = \frac{1}{W} \cdot E_1 E_1^H$$

angegeben werden (Schritt 5 in Fig. 6). Es schließt sich optional eine Mittelung der Werte über mehrere Funkblöcke entsprechend eines rechteckigen oder exponentiellen Fensters an.

Bei FDD-Systemen (frequency division duplex) werden die räumlichen Kovarianzmatrizen R_{xx} , R_1 der Abwärtsrichtung aus bestimmten dominanten Einfallsrichtungen und den korrespondierenden Amplituden in Aufwärtsrichtung geschätzt.

Die Matrix R_{xx} ergibt sich beispielsweise aus:

$$R_{xx}^{(k)} = \sum_{i=1}^{d(k)} p_i^{(k)} \cdot a(\mu_i^{(k)}) a^H(\mu_i^{(k)}),$$

wobei $d(k)$ die Anzahl dominanter Einfallsrichtungen des k -ten Teilnehmers (aus der Aufwärtsrichtung geschätzt), $\mu_i^{(k)}$ einen Vektor mit den 1D oder 2D räumlichen Frequenzen des i -ten Ausbreitungspfad, $a(\mu_i^{(k)})$ den korrespondierenden Steuervektor (array steering vector) der Antenneneinrichtung AE und p_i die komplexe Amplitude (aus Aufwärtsrichtung geschätzt) angeben.

Die Matrix R_1 ergibt sich entsprechend:

$$R_1^{(k)} = \sum_{i=1}^{d_1(k)} p_{1i}^{(k)} \cdot a(\mu_{1i}^{(k)}) a^H(\mu_{1i}^{(k)}),$$

wobei $d_1(k)$ die Anzahl dominanter Einfallsrichtungen der störenden Signale (aus der Aufwärtsrichtung geschätzt), $\mu_{1i}^{(k)}$ einen Vektor mit den 1D oder 2D räumlichen Frequenzen des i -ten Ausbreitungspfad der Störer, $a(\mu_{1i}^{(k)})$ den korrespondierenden Steuervektor (array steering vector) der Antenneneinrichtung AE und p_{1i} die komplexe Amplitude (aus Aufwärtsrichtung geschätzt) angeben.

Dieser Verfahrensablauf korrespondiert mit den Schritten 2 und 3 bzw. 4 und 5 in Fig. 6.

Alternativ zu der geschilderten TDMA/CDMA-Funkschnittstelle kann das erfindungsgemäße Verfahren auch auf DS (direct sequence) CDMA-Übertragungssysteme angewendet werden. Zur Schätzung der räumlichen Kovarianzmatrizen R_{xx} , R_1 werden dabei die Kanalimpulsantworten in Aufwärtsrichtung ausgewertet oder 2D-Rake-Empfänger mit MVDR-Verarbeitung (minimum variance distortionless response) eingesetzt.

In einem weiteren Schritt (Schritt 6 in Fig. 6) wird für die k -te Verbindung ein Strahlformungsvektor $w^{(k)}$ gemäß der Gleichung:

$$\left| \frac{w^{(k)} R_{xx}^{(k)} w^{(k)}}{w^{(k)} R_1^{(k)} w^{(k)}} \right|_{\max}$$

berechnet, wobei $w^{(k)}$ den verallgemeinerten Eigenvektor zum größten verallgemeinerten Eigenwert $\lambda_{\max}^{(k)}$ nach

$$R_{xx}^{(k)} w^{(k)} = R_I^{(k)} w^{(k)} \lambda_{\max}^{(k)}$$

- 5 bezeichnet. Dies entspricht einem allgemeinen Eigenwertproblem, das durch Einsetzen einer Einheitsmatrix I für R_I zusätzlich vereinfacht werden kann. Die Berechnung erfolgt ohne Iterationen.

Eine Sendeleistung für die Sendesignale tx der Verbindung k wird aus dem Strahlformungsvektor $w^{(k)}$ gemäß der Beziehung $P_k = w^{(k)H} H w^{(k)}$ bestimmt, wobei H einen transjugierten Vektor bezeichnet.

- 10 Im Schritt 7 von Fig. 6 wird überprüft, ob bei der Mobilstation MSk ein ausreichender Signal/Stör-Abstand vorliegt. Ist dies nicht der Fall, so wird die Sendeleistung P_k zusätzlich auf einen vorgegebenen minimalen Signal/Stör-Abstand bei der Funkstation angehoben. Der momentane Signal/Stör-Abstand wird bei der empfangenden Funkstation gemessen und der Basisstation mitgeteilt.

Daraufhin werden Sendesignale für die Verbindung mit dem Strahlformungsvektor $w^{(k)}$ gewichtet und den Antennenelementen zur Abstrahlung zugeführt (Schritt 9 in Fig. 6).

- 15 Ein Netzwerk zur Strahlformung ist in Fig. 5 beispielhaft für zwei Verbindungen mit Sendesignalen $tx1$ und $tx2$ gezeigt. Den Verbindungen sind Strahlformungsvektoren $w1$ und $w2$ zugeordnet, die mit den Sendesignalen $tx1$ und $tx2$ multipliziert werden, wobei für jeden Einzelstrahler die gewichteten Sendesignale $tx1$ und $tx2$ überlagert, in einem HF-Teil HF-T in hochfrequente Sendesignale umgewandelt und anschließend über M Einzelstrahler abgestrahlt werden. Die Sendesignale $tx1$ und $tx2$ werden im gleichen Frequenzkanal (gleiche Sendefrequenz, ggf. Zeitschlitz und/oder Code)

20 übertragen und werden lediglich räumlich separiert. Durch die Anwendung verschiedener Strahlformungsvektoren $w1$, $w2$ für die unterschiedlichen Verbindungen wird eine Abstrahlungscharakteristik der Antenneneinrichtung AE erzeugt, die einen ungestörten Empfang der Sendesignale $tx1$, $tx2$ an den entsprechenden Positionen der Mobilstationen MS1, MSk gewährleistet.

Patentsprüche

- 25 1. Verfahren zur Datenübertragung in einem Funk-Kommunikationssystem mit einer Basisstation (BS) und weiteren Funkstationen (MS1 bis MSn), wobei die Basisstation (BS) eine zugeordnete Antenneneinrichtung (AE) mit mehreren Antennenelementen (A1 bis Am) aufweist,
30 bei dem
räumliche Kovarianzmatrizen (R_{xx} , R_I) für eine k -te Verbindung (V_k) von der Basisstation (BS) zu einer Funkstation (MSk) bzw. für eine Summe von weiteren Funkstationen (MS1 bis MSn) bestimmt werden,
für die Verbindung (V_k) ein Strahlformungsvektor ($w^{(k)}$) gemäß der Bedingung

$$35 \left| \frac{w^{(k)H} R_{xx}^{(k)} w^{(k)}}{w^{(k)H} R_I^{(k)} w^{(k)}} \right|_{\max}$$

mit dem größten Eigenwert ($\lambda_{\max}^{(k)}$) nach

$$40 R_{xx}^{(k)} w^{(k)} = R_I^{(k)} w^{(k)} \lambda_{\max}^{(k)}$$

bestimmt wird,

- 45 Sendesignale ($tx^{(k)}$) für die Verbindung (V_k) mit dem Strahlformungsvektor ($w^{(k)}$) gewichtet und den Antennenelementen (A1 bis Am) zugeführt werden,
die Sendesignale ($tx^{(k)}$) von den Antennenelementen (A1 bis Am) abgestrahlt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem eine Sendeleistung (P_k) für die Sendesignale ($tx^{(k)}$) der Verbindung (V_k) aus dem Strahlformungsvektor ($w^{(k)}$) gemäß $P_k = w^{(k)H} H w^{(k)}$ bestimmt wird, wobei H einen transjugierten Vektor bezeichnet, und auf einen vorgegebenen minimalen Signal/Stör-Abstand bei der Funkstation (MSk) angehoben wird.
3. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem die Datenübertragung in Abwärts- und Aufwärtsrichtung im gleichen Frequenzband erfolgt, so daß zumindest einer der räumlichen Kovarianzmatrizen (R_{xx} , R_I) bezüglich der Verbindung (V_k) für die Abwärtsrichtung aus Meßwerten der Aufwärtsrichtung bestimmt werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die Datenübertragung in Abwärts- und Aufwärtsrichtung in unterschiedlichen Frequenzbändern erfolgt, so daß zumindest einer der räumlichen Kovarianzmatrizen (R_{xx} , R_I) für die Abwärtsrichtung aus dominanten Einfallrichtungen für Empfangssignale ($rx^{(k)}$) bezüglich der Verbindung (V_k) in der Aufwärtsrichtung bestimmt wird.

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem für die räumliche Kovarianzmatrix (R_I) für die Summe der Einflüsse von weiteren Funkstationen (MS1 bis MSn) als Einheitsmatrix aufgestellt wird.

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem die Bestimmung der räumlichen Kovarianzmatrizen (R_{xx} , R_I) basierend auf geschätzten Kanalimpulsantworten durchgeführt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Kanalimpulsantworten aus von der Funkstation (MSk) gesendeten Trainingssequenzen bestimmt werden.

8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem die Funkstation (MSk) bzw. die Basisstation (BS) eine gemeinsame Detektion mehrerer, sich durch einen CDMA-Code unterscheidender Signale durchführt und Interferenzen von nicht zur Verbindung (V_k) gehörigen Signalen eliminiert werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem die räumliche Kovarianzmatrix (R_I) für die Summe der Einflüsse von weiteren Funkstationen (MS1 bis MSn) aus den Empfangssignalen (e_j) von nicht zur Verbindung (V_k) gehörigen Signalen und/oder durch gemeinsame Detektion in der Mobilstation (MSk) nicht berücksichtigten Signale gemäß

$$E_I = \begin{bmatrix} e_I^{(1)T} \\ e_I^{(2)T} \\ \vdots \\ e_I^{(M)T} \end{bmatrix} \in C^{M \times W} \quad \text{und} \quad R_I^{(k)} = \frac{1}{W} E_I E_I^H$$

aufgestellt wird.

10. Basisstation (BS) zur Datenübertragung für ein Funk-Kommunikationssystem mit mehreren Funkstationen (MS1 bis MSn),

mit zumindest einer Sendeeinrichtung (TX) zum Erzeugen von Sendesignalen ($tx1$),

mit einer der Basisstation (BS) zugeordneten Antenneneinrichtung (AE) bestehend aus mehreren Antennenelementen (A1 bis Am) zum Abstrahlen der Sendesignale ($tx^{(k)}$),

mit einer Steuereinrichtung (SE),

– die räumliche Kovarianzmatrizen (R_{xx} , R_I) für eine k-te Verbindung (V_k) von der Basisstation (BS) zu einer Funkstation (MSk) bzw. für eine Summe von weiteren Funkstationen (MS1 bis MSn) bestimmt und in einer Speichereinrichtung (SP) speichert,

– die für die Verbindung (V_k) ein Strahlformungsvektor ($w^{(k)}$) gemäß der Bedingung

$$\left| \frac{w^{(k)T} R_{xx} w^{(k)}}{w^{(k)T} R_I w^{(k)}} \right|_{\max}$$

mit dem größten Eigenwert ($\lambda_{\max}^{(k)}$) nach

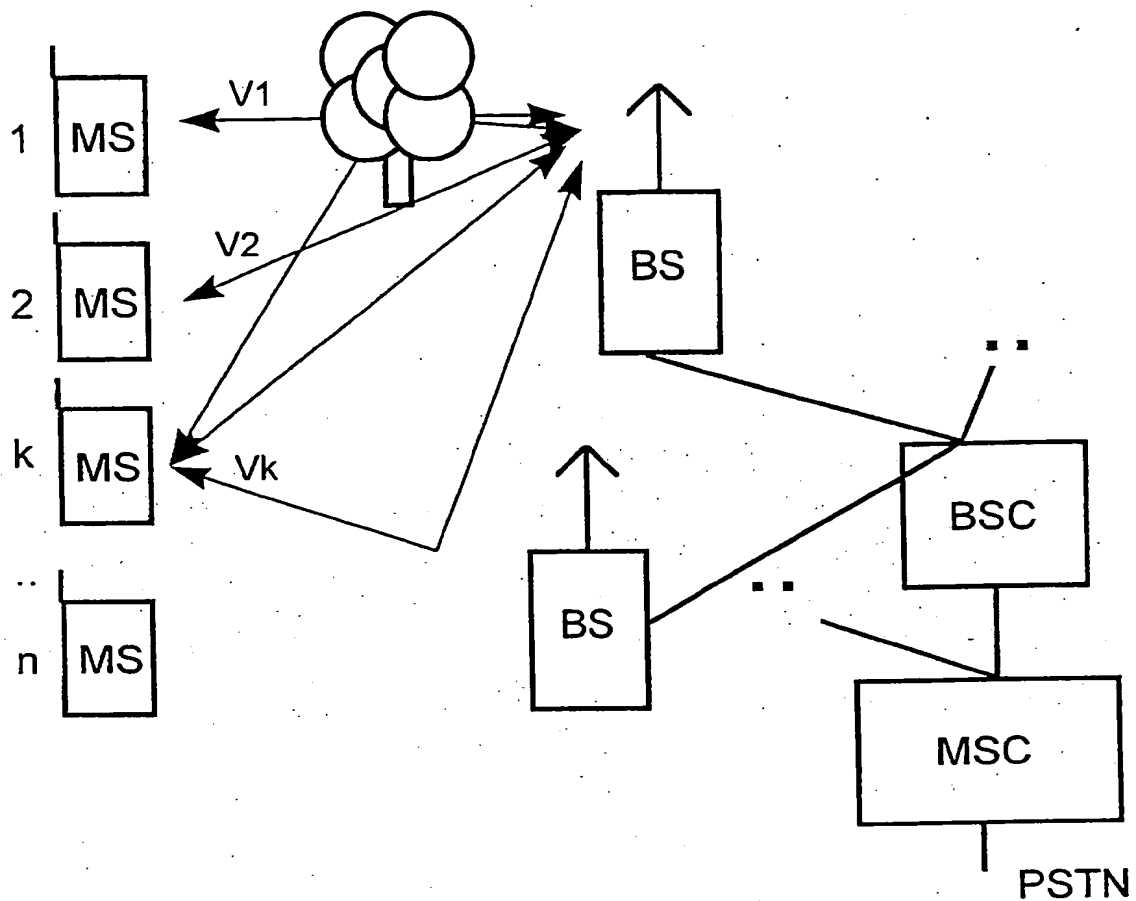
$$R_{xx}^{(k)} w^{(k)} = R_I^{(k)} w^{(k)} \lambda_{\max}^{(k)}$$

bestimmt und in einer Speichereinrichtung (SP) speichert,

– ein Wichten der Sendesignale ($tx^{(k)}$) für die Verbindung (V_k) mit dem Strahlformungsvektor ($w^{(k)}$) steuert.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

Fig.1



(Stand der Technik)

Fig.2

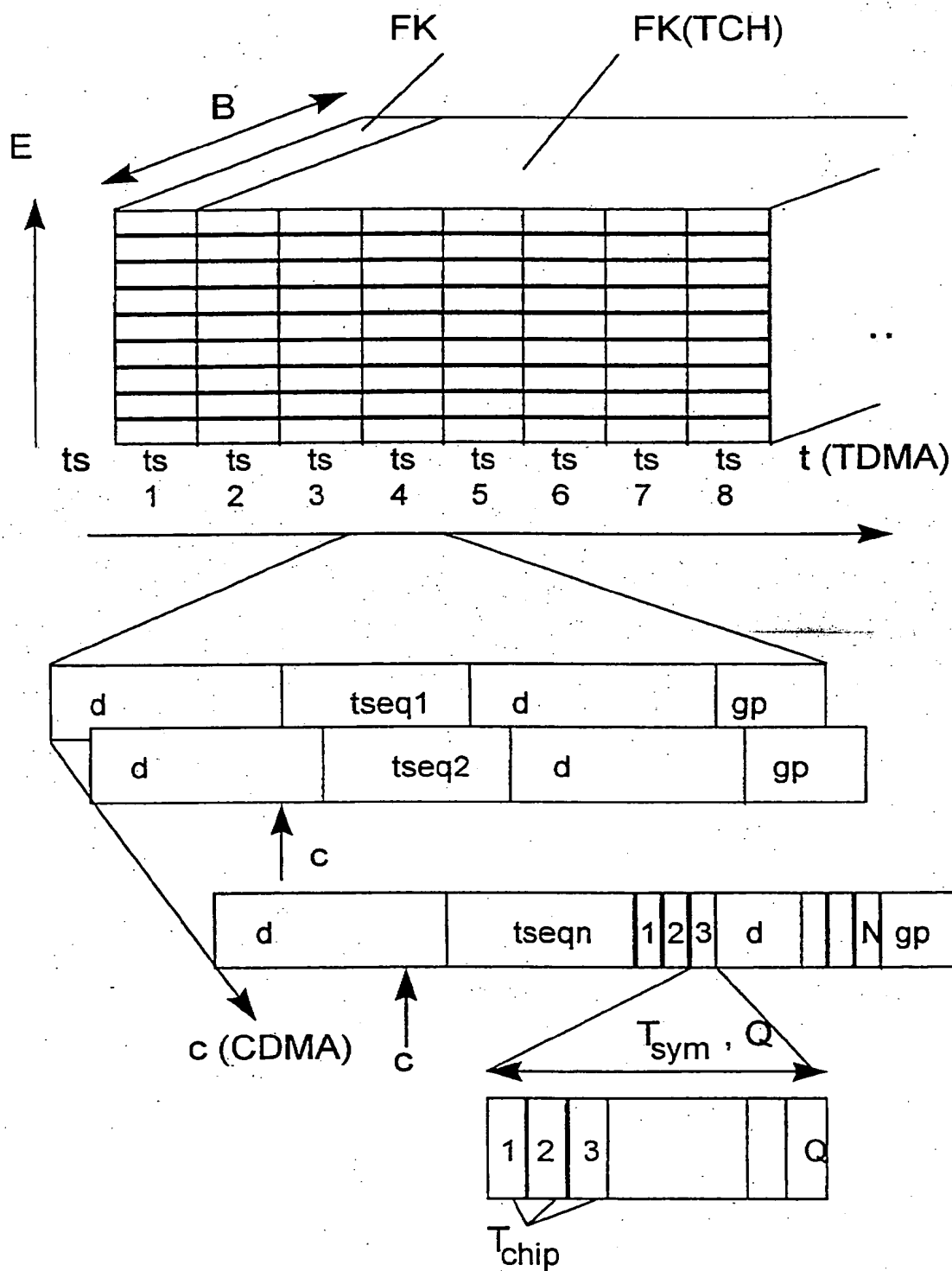


Fig.3

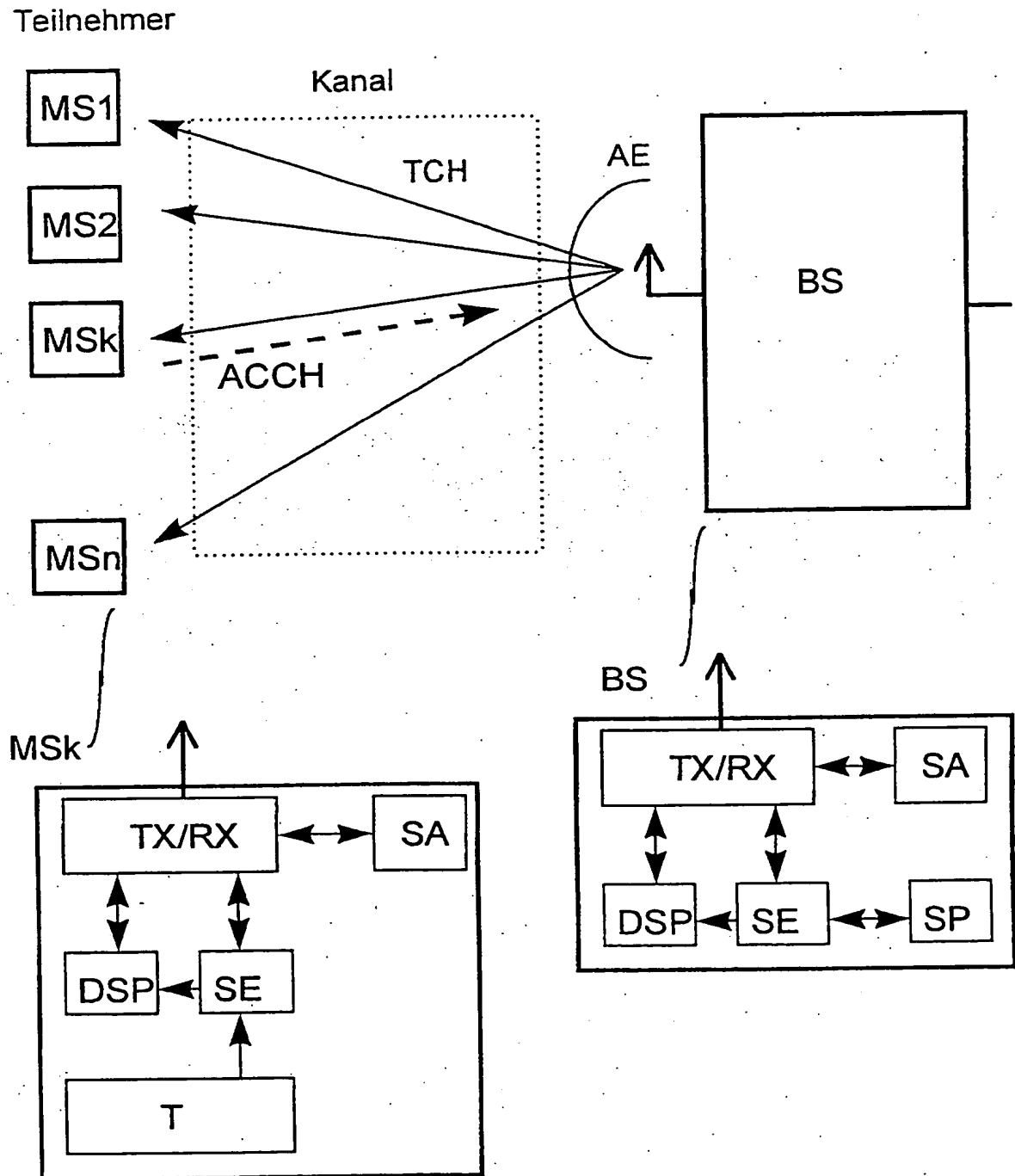


Fig.4

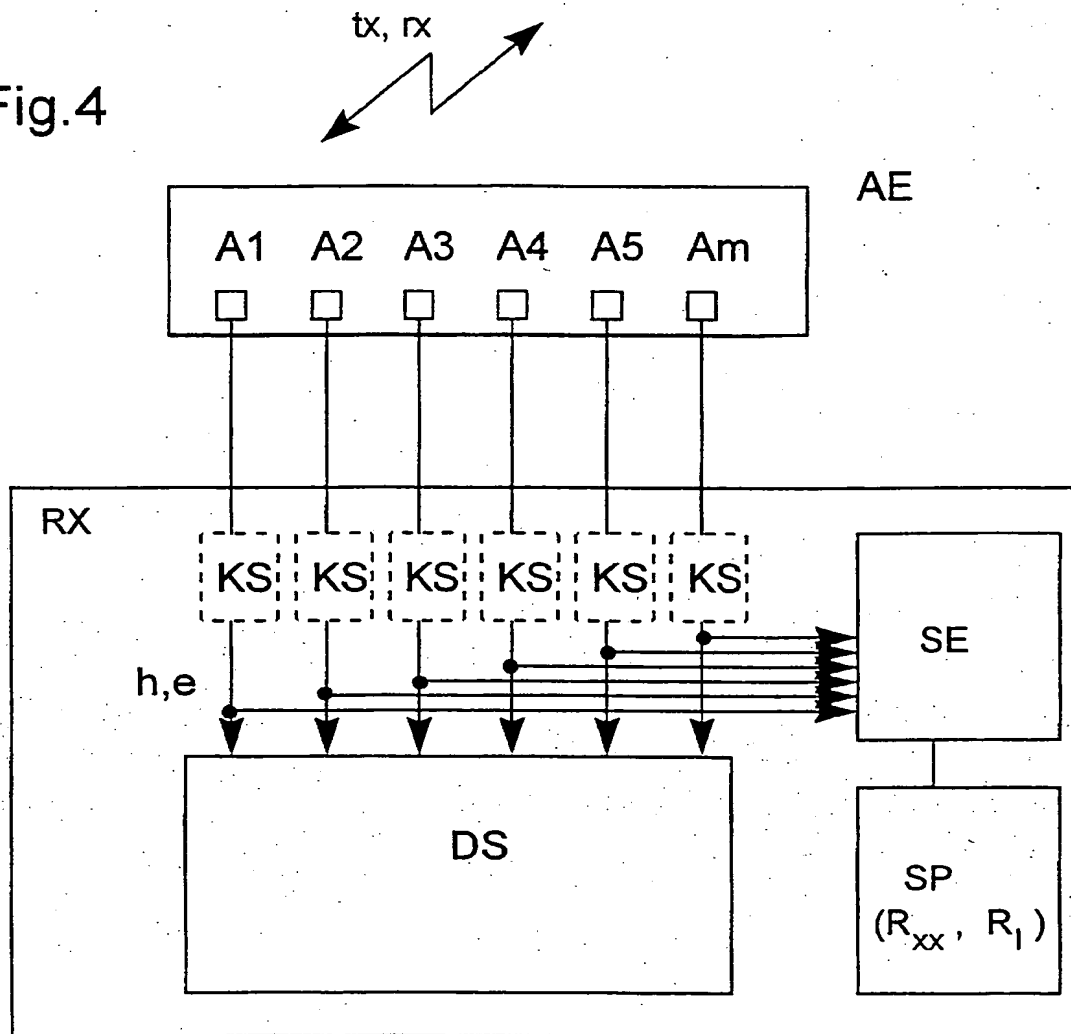


Fig.5

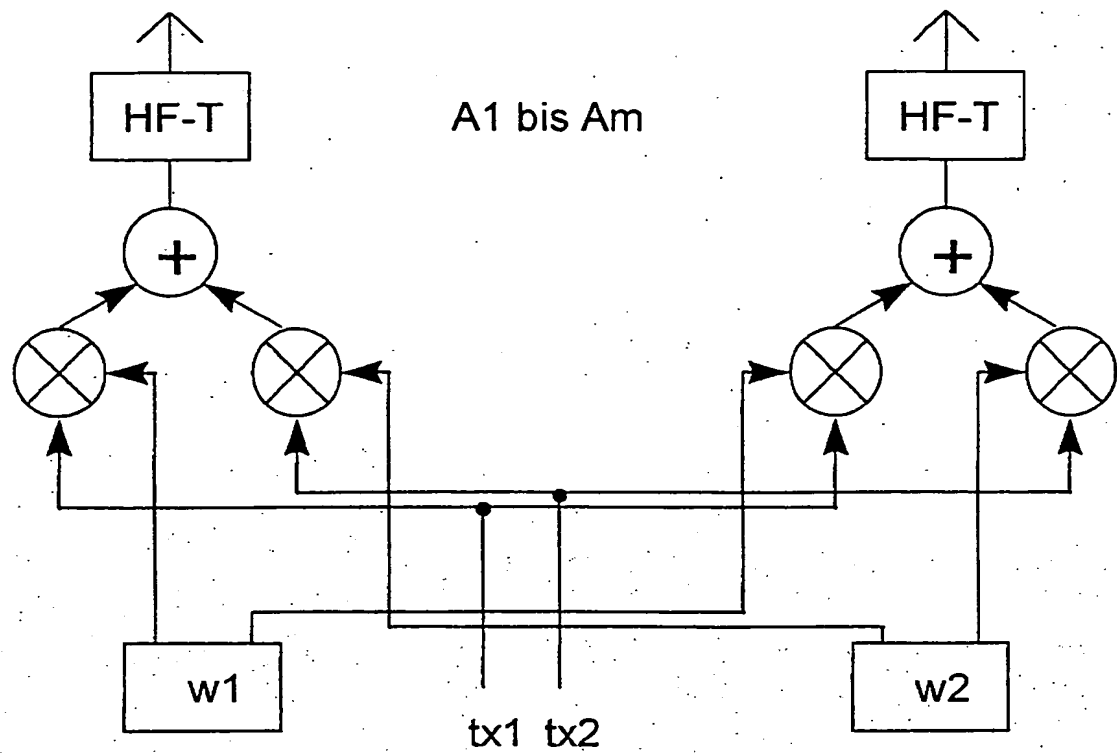


Fig.6

